

⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ ff Offenlegungsschrift
⑩ DE 199 29 701 A 1

⑩ Int. Cl. 7:
G 02 B 1/02
G 02 B 13/14
G 03 F 7/20

⑩ Innere Priorität:

198 55 158. 4 30. 11. 1998
199 08 644. 7 27. 02. 1999

⑩ Erfinder:

Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE

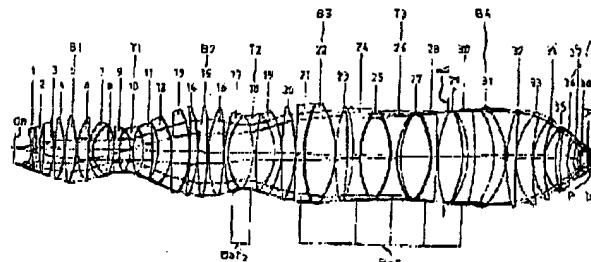
⑩ Anmelder:

Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑩ Objektiv mit Kristall-Linsen

⑩ Ein Objektiv mit Linsen aus zwei verschiedenen Kristallen, insbesondere CaF₂ und BaF₂, eignet sich besonders als refraktives Projektionsobjektiv der Mikrolithographie bei 157 nm. Derartige Projektionsobjektive für 193/248 nm mit Quarzglas und Achromatisierung mit CaF₂ werden mit BaF₂ Compaction-resistent. Mit anderen Fluoriden und teilweise katadioptrischen Objektiven werden Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen im Wellenlängenbereich 100-200 nm möglich.



DE 199 29 701 A 1

DE 199 29 701 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Objektiv mit Kristall-Linsen. Derartige Objektive sind seit über hundert Jahren als Achromat-Mikroskopobjektive von Carl Zeiss mit Flußspat (CaF_2)-Linsen bekannt.

5 In jüngerer Zeit werden refraktive Projektionsobjektive für die Mikrolithographie im DUV bei 248 oder 193 nm Wellenlänge realisiert, die Linsen aus Quarzglas und CaF_2 enthalten.

Aus DD 222 426 B5 ist ein optisches System mit optischen Gläsern und BaF_2 -Einkristall als optische Medien bekannt, das für Wellenlängen von 150 bis 10 μ m eingesetzt werden kann. Das Ausführungsbeispiel ist ein Planapochromat für 480 bis 800 nm mit mehreren verschiedenen Gläsern und BaF_2 .

10 Die Materialauswahl für UV-Mikrolithographicobjektive – mit Schwerpunkt auf der Wellenlänge 248 nm – ist in G. Roblin, J. Optics (Paris), 15 (1984) pp. 281-285 beschrieben.

Im Ergebnis werden nur Kombinationen von Quarzglas mit CaF_2 oder LiF als brauchbar eingestuft.

In U. Bebringer, F + M (München) 107 (1999), 57-60 sind für die 157 nm Mikrolithographie Fluoride wie CaF_2 , MgF_2 und LiF als geeignet beschrieben, mit Vorbehalten wegen der Doppelbrechung von MgF_2 und wegen der Handhabung von LiF .

In K. F. Walsh et al., SPIE Vol. 774 (1987), 155-159 werden u. a. die Excimer-Laser für 248, 193 und 157 nm Wellenlänge vorgestellt und für 248 nm Quarzglas, CaF_2 , BaF_2 und MgF_2 als einzige brauchbare Linsenmaterialien benannt. Für Wellenlängen unter 248 nm wird Quarzglas als einzige brauchbares Material erwartet.

15 In US 5,031,977 wird ein katadioptrisches 1:1 Projektionsobjektiv für die Mikrolithographie bei 248 nm beschrieben, das einen Konkavspiegel, eine Quarzglaslinse, eine LiF -Linse und zwei Umlenksysteme aus CaF_2 enthält. Argumente zur Materialauswahl sind ebenfalls angegeben wie Hinweise zu Abwandlungen der speziellen Konstruktion.

Nahe bei 157 nm liegt jedoch die Absorptionskante von Quarzglas. CaF_2 transmittiert bei 157 nm noch brauchbar, hat aber eine zu hohe Dispersion für ein reines CaF_2 -Objektiv der Mikrolithographie, auch für einen speziell eingengten F_2 -Excimer-Laser. Bisher sind daher Objektive für Wellenlängen unter 193 nm nur als katadioptrische – vgl.

20 DB 196 39 586 A des gleichen Erfinders und Anmelders und US Prov. Appln. Ser. No. 60/094,579 vom 29. Juli 1998 des gleichen Anmelders – oder katadioptrische – vgl. US 5,686,728-Systeme bekannt. Dabei gibt US 5,686,728 ein reines Spiegelobjektiv für die VUV-Mikrolithographie mit beispielsweise 126 nm, 146 nm oder 157 nm Excimer-Laser an.

Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines alternativen Objektivkonzepts mit einer Materialzusammensetzung, die neue Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere in der Mikrolithographie bei niedrigen Wellenlängen eröffnet.

25 30 Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Objektiv nach Anspruch 1, ein Projektionsobjektiv der Mikrolithographie nach Anspruch 4, oder 9, 11, 12 und eine Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16, 17 oder 18. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche 2, 3, 5-8, 10, 14-16, 19-21 und 23.

Eine Teilaspekt gibt Anspruch 13 an.

Ein Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile genügt Anspruch 22 sieht vor, daß ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat mittels einer Maske und einer Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 17 bis 21 – und damit mit einem Objektiv nach einem der vorangehenden Ansprüche – durch ultraviolettes Licht belichtet wird und gegebenenfalls nach Entwickeln der lichtempfindlichen Schicht entsprechend einem auf der Maske erhaltenen Muster strukturiert wird.

Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis, daß sich durch die Verwendung zweier verschiedener Kristalle in einem Objektiv neuartige Objektiveigenschaften bereitstellen lassen. Insbesondere gehört dazu die Möglichkeit der Achromatisierung bei niedrigen Wellenlängen, bei denen jedes bekannte Glas, auch Quarzglas, stark absorbiert. Die in der Mikrolithographie gegen BaF_2 vorhandenen Vorbehalte beziehen sich auf 248 nm und Quarzglas als Partner.

45 Alkali- und Erdalkalihalogenide, speziell deren Fluoride, wie auch andere Fluoride sind als Optik-Werkstoff bekannt. Ihre zum Teil schwierigen Werkstoffeigenschaften haben bisher dazu geführt, daß ihre hervorragenden Transmissions-eigenschaften im tiefen UV nur ansatzweise ausgenutzt wurden. Erfindungsgemäß wurde gezeigt, daß mit diesen und ähnlichen Materialien die optische Mikrolithographie bis zu ca. 100 nm Wellenlänge nach unten ausgedehnt werden kann.

Mit der Paarung zweier Fluoridkristalle, insbesondere von CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 , LiF , NaF , oder KF , aber auch von Mischkristall-Fluoriden kann erstmals ein Materialpaar zur Achromatisierung von 157 nm-Optiken angegeben werden. Die Materialien sind bereits in der Optik-Fertigung bekannt, wie der angegebene Stand der Technik belegt. Bariumfluorid, Strontiumfluorid oder Natriumfluorid wird dabei entsprechend Anspruch 6 vorzugsweise für Negativlinsen verwendet, und zwar nur für einzelne, weil das genügen kann.

50 Kalziumfluorid findet dann genügend Anspruch 7 nicht nur für die Positivlinsen, sondern auch für die restlichen Negativlinsen Verwendung.

Besonders vorteilhaft ist es genügend Anspruch 8, daß numerische Aperturen über 0,5, auch bei 157 nm, erreicht werden. Das folgende Beispiel mit der numerischen Apertur von 0,8 belegt dies deutlich. Damit wird der Auflösungsvorsprung der EUV-Mikrolithographie durch ca. 1/10 der Wellenlänge teilweise kompensiert, da es, die dreifache NA erreicht wird. Gegenüber 193 nm kann mit 109 nm aber die Auflösung fast halbiert werden, da das Niveau der NA gehalten wird. Für die Bearbeitungsgenauigkeit hat die zehnfache Wellenlänge gegenüber EUVL dramatische Vorteile.

55 60 Das Stitching-Verfahren (zeilenweise Belichten des Chips) gemäß Anspruch 20, welches neuerdings in der Mikrolithographie bei sehr niedrigen Wellenlängen ins Gespräch kommt, erlaubt verkleinerte Bildfelder als Rechtecke mit mittigem Aspektverhältnis und sorgt so für eine drastische Verkleinerung der Objektive. Letzteres entspannt die Herstellungsprobleme für die Linsenkristalle drastisch.

65 Eine ganz andere Ausführungsart der Erfindung gemäß den Ansprüchen 9 und 10 wurde überraschend gefunden: Bei der DUV-Mikrolithographie mit 248 nm oder 193 nm tritt im Dauerbetrieb ein als "Compaction" bezeichneter Alterungsprozeß bei Quarzglas auf, durch den das Material verdichtet wird und in Folge Brechungsindex und Form der Linse verändert werden. Dies verschlechtert natürlich die Abbildungsleistung des Objektivs. Neben der Kompensation durch stellbare Glieder wurde erkannt, daß die am höchsten belasteten und betroffenen bildseitigen Linsen statt aus Quarzglas aus Kristall, nämlich vorzugsweise CaF_2 , SrF_2 oder BaF_2 gefertigt werden können, die wesentlich stabiler gegen UV-

DE 199 29 701 A 1

Strahlung sind.

In der Patentanmeldung DE 198 55 157.6 des Anmelders vom gleichen Anmeldetag sind mehrere Ausführungsbeispiele mit derartigem Einsatz von Kalziumfluorid-Linsen enthalten, welche Teil der Offenbarung auch dieser Anmeldung sein sollen.

Dabei hat BaF_2 wie SrF_2 an dieser Stelle nach Anspruch 9 den – im Umfeld der Achromatisierung als Nachteil geltenden – Vorteil, sich in seinen optischen Eigenschaften wesentlich weniger von Quarzglas zu unterscheiden als CaF_2 (vgl. Roblin am angegebenen Ort). Die Designänderungen eines Projektionsobjektivs bei Austausch von Quarzlinsen gegen BaF_2 - oder SrF_2 -Linsen in Bildnähe sind daher minimal. Das Projektionsobjektiv wird so durch den Einsatz von zwei kristallinen Materialien – CaF_2 für die Achromatisierung, BaF_2 oder SrF_2 gegen die Compaction – optimiert.

Für ein 157 nm-Objektiv, rein refraktiv und aus einem Material, also CaF_2 , wären Laserbandbreiten bis hinter zu 0,1 pm notwendig, abhängig von Apertur und Bildfeldgröße.

Es ist nicht zu erwarten, daß diese Werte einfach erreicht werden können beim Wechsel von 193 auf 157 nm. Alles wird nochmals anspruchsvoller, Materialdurchlässigkeit, Schichtverfügbarkeit, Gitter für die Laserkomponenten.

Erfindungsgemäß wurde mit BaF_2 ein Material gefunden, welches bei 157 nm transparent und isotrop ist, welches eine merklich höhere Dispersion bei 157 nm als CaF_2 besitzt und sich mit diesem zum Achromaten ergänzen läßt. BaF_2 absorbiert erst bei etwa 130 nm vollständig. Die Nähe der Absorptionskante zu 157 nm ist verantwortlich für den raschen Verlauf der Brechzahländerung (starke Dispersion) bei 157 nm. Entsprechendes gilt für andere Fluoride wie SrF_2 .

Bei 193 nm ist die Achromatisierung durch die Kombination von CaF_2 und Quarzglas etabliert. BaF_2 hat eine nur unwesentlich höhere Dispersion als CaF_2 und liegt in der Dispersion sozusagen nutzlos zwischen der Dispersion von CaF_2 und Quarzglas.

Für 157 nm ändert sich die Situation, da Quarzglas erhöhte Absorption zeigt. Nach bisheriger allgemeiner Meinung gab es nun für CaF_2 keinen geeigneten Partner zur Achromatisierung.

Dies ist nicht der Fall: Der Dispersionssstand zwischen CaF_2 und BaF_2 bei 157 nm fällt zwar kleiner aus als zwischen CaF_2 und Quarzglas bei 193 nm, aber es läßt sich unter moderatem Einsatz von BaF_2 immer noch sehr gut teillachromatisieren, auf ähnlichem Niveau wie bei 193 nm, z. B. 50% Farblängsfehlerreduktion.

Bei 193 nm wird allgemein nur eine Teillachromatisierung durchgeführt, um das eingesetzte CaF_2 Volumen aus Gründen der Kosten, der Verfügbarkeit und der Materialeigenschaften klein zu halten. Bei 157 nm wird man den Partner BaF_2 im Volumen kleinhalten wollen, da er ein höheres spezifisches Gewicht hat und sich die BaF_2 -Linsen dadurch unter der Schwerkraft stärker durchbiegen.

Bei 193 nm möchte man möglichst alles aus Quarzglas machen, bei 157 nm möglichst alles aus CaF_2 . Da die Zahl der positiven Linsen im refraktiven Lithographie-Objektiv deutlich größer ist als die der negativen, wäre es vorteilhaft bei 193 nm, wenn Quarzglas eine kleine Dispersion hätte. Es ist aber umgekehrt, CaF_2 hat die kleinere Dispersion und kann nicht bzw. soll nicht in allen positiven Linsen eingesetzt werden. Es werden also positive Linsen aus Quarzglas gemacht, was den Grad der Achromatisierung drückt.

Bei 157 nm ist es ebenfalls wünschenswert, daß das bevorzugte Material, hier CaF_2 , eine kleinere Dispersion als der Partner hat.

Im Gegensatz zu 193 nm ist dies bei 157 nm mit BaF_2 der Fall. Fast alle Linsen, sicher alle positiven Linsen, können aus dem Kron, nämlich CaF_2 , sein. Einige wenige Negativlinsen werden aus BaF_2 gemacht, alternativ aus SrF_2 , denn dafür gilt qualitativ das gleiche wie für BaF_2 .

Natürlich gelten die obigen Aussagen auch für Linsen in einem katadioptrischen Objektiv, insbesondere auch für dabei verwendete refraktive Teillobjective. Das erfindungsgemäße Objektiv kann also auch katadioptrisch sein. Wichtig ist, daß Linsen, und nicht nur optische Hilfselemente wie Umlenkprismen oder Planplatten aus Kristall bestehen.

Möchte man Lithographie mit einer kürzeren Wellenlänge als 157 nm und gleichzeitig mit sehr hoher numerischer Apertur betreiben, begegnet man einer Fülle schon bekannter Probleme in verschärfter Form. Zunächst muß man sich im Klaren sein, daß nur bei Excimer-Laserwellenlängen eine geeignete Bandbreite und Ausgangsleistung der Lichtquelle zu erwarten ist. Die Spektren der Edelgase erweitern zwar auch etwa ab 60 nm, nur sind diese sehr breitbandig und damit nur reinen Spiegelsystemen zugänglich. Reine Spiegelsysteme mit wirklich ausgedehntem Feld zwischen 10 und 26 nm haben bis jetzt keine Apertur größer $\text{NA} = 0,6$.

Excimer-Laser können auf folgenden Wellenlängen unterhalb von 157 nm betrieben werden:

NeF	109 nm
ArF	126 nm
ArKr	134 nm
KrF	147 nm

Bei der Materialfrage ist ein bekannter Kandidat mit sehr guter Transmission für 134 und 147 nm CaF_2 . Für 134 und 147 nm sind katadioptrische Objektive mit ausschließlich CaF_2 als Linsenmaterial denkbar und stellen somit nichts Neues dar. Möchte man refraktive Objektive mit mehr Apertur bekommen, wie 0,80/0,85/0,90, so erschließt sich die Wellenlänge 147 nm noch durch das oben für 157 nm angegebene Materialsystem: Positive Linsen vorwiegend aus CaF_2 , einige negative Linsen aus BaF_2 . Da die Absorptionskante von BaF_2 etwa bei 134,5 nm liegt, ist man noch etwa 13 nm bei 147 nm entfernt. Dies bedeutet eine erhöhte Absorption, ermöglicht aber eine entspanntere Farblängsfehlerkorrektion, da BaF_2 bei 147 nm nun eine stärkere Dispersion hat als bei 157 nm, und zwar mit höherer Zunahme als CaF_2 , da die Absorptionskante von CaF_2 bei 125 nm liegt.

Mit anderen Worten: bei gleich guter Bandbreite der Laser von 157 nm und 147 nm liefern bei einem rein refraktiven Objektiv ein Materialpaar CaF_2 und BaF_2 bei 147 nm das bessere Ergebnis hinsichtlich Farbkorrektur. Die Absorptionsverluste sind allerdings höher.

Auch bei 134 nm wurde bisher kein Materialpaar zur Achromatisierung rein refraktiver Systeme angegeben. Erfin-

DE 199 29 701 A 1

dungsgemäß wurde dies in dem Materialpaar CaF_2 - SrF_2 gefunden. Der Abstand zur Absorptionskante von SrF_2 bei 130 nm muß aber als sehr gering eingeschüttet werden. Die erhöhte Absorption lässt den Kristall nur für sehr dünne und kleine Negativlinsen sinnvoll erscheinen. Deshalb wird ein derartiges System nur für kleinere Bildfelder, etwa ein Halbfeldsystem (Striching) realistisch sein.

5 Bei 126 nm scheidet auch CaF_2 vollständig aus, da der Abstand zur Absorptionskante nur noch 1 nm beträgt.

Es bleiben als bekannte Werkstoffe MgF_2 und LiF . MgF_2 ist auch bei 126 nm stark doppelbrechend und damit ungeeignet. LiF ist bei 126 nm zwar durchlässig, gilt aber für kleinere Durchmesser als ungeeignet, da die Strahlungshemmung steigt und das Material sich dadurch unzulässig verändert (Transmission und Brechzahl). Selbst ein katadioptrisches System kommt im Bereich der höchsten Apertur (vor der Bildebene) nicht ohne Material im Durchtritt aus. Somit

10 würde man für 126 nm kein hochgekennzeichnetes Lithographicobjektiv mit großem Feld mehr bauen können.

Erfindungsgemäß kann nun ein weiteres Material speziell für die hochbelasteten kleinen Durchmesser angegeben werden. Die Konfiguration bei 126 nm besteht aus einem katadioptrischen Lithographicobjektiv, welches hauptsächlich aus LiF besteht. In den mit hoher Strahlungsintensität belasteten Linsen besteht es jedoch aus der isotropen amorphen Form von BeF_2 . Die kristalline Form ist ähnlich dem kristallinen Quarz doppelbrechend. Die glasig erstarrte Form, ähnlich dem Quarzglas, ist bei entsprechender Herstellung isotrop. Da BeF_2 bei 126 nm deutlich laser-resistenter ist als LiF , ist es das geeignete Material in wenigen Linsen entweder in einer Strahltrasse oder mehreren Strahltrassen und/oder am bildseitigen Ende des Objektivs. Die geringe Zahl von BeF_2 -Linsen ist letztlich anzustreben, da BeF_2 als starkes Atentgift und schwächeres Kontaktgift eingeschüttet werden muß. Für den Infrarottbereich gibt es schon lange Fertigungslinien, die den Umgang mit giftigen optischen Komponenten beherrschen. Trotzdem ist es vorteilhaft, die Zahl der BeF_2 -Linsen auf das Allernotwendigste zu beschränken. Es handelt sich also um ein refraktives oder katadioptrisches Lithographicobjektiv aus mindestens einem kristallinem und einem glasigen Fluorid.

15 BeF_2 muß wasserfrei hergestellt und bearbeitet werden, da es zu H_2O -Aufnahme neigt und das H_2O sofort die Wellenlänge 126 nm sperrt.

20 Besonders H_2O -anne BeF_2 -Herstellung macht auch die HeF-Laserwellenlänge bei 109 nm zugänglich. Beide Komponenten in hochreiner Form, LiF und BeF_2 , ermöglichen ein katadioptrisches Objektiv bei 109 nm.

25 Optische Materialien großer Dispersion werden herkömmlich als Flint(glas), solche geringer Dispersion als Kron(glas) bezeichnet.

30 Für die verschiedenen DUV bis VUV-Wellenlängen werden gemäß Obengesagtem die im folgenden kompakt wiedergegebenen Materialkombinationen vorgeschlagen:

35	- 193 nm:	
	- CaF_2 Kron	KF Flint
	- CaF_2 Kron	$\text{KF} + \text{SiO}_2$ -Glas Flint
	- $\text{LiF} +, \text{CaF}_2$ Kron	KF Flint
	- $\text{LiF} +, \text{CaF}_2$ Kron	$\text{KF} + \text{SiO}_2$ -Glas Flint
40	- 157 + 147 nm:	
	CaF_2 und/oder LiF Kron	NaF , BaF_2 , und/oder SrF_2 Flint
45	- 134 nm:	
	- CaF_2 Kron	SrF_2 Flint
	- CaF_2 Kron	NaF Flint
	- LiF Kron	SrF_2 Flint
	- LiF Kron	NaF Flint
	- LiF Kron	$\text{NaF} + \text{SrF}_2$ Flint

50 dabei SrF_2 für kleine Durchmesser, da strahlungsbeständiger als NaF . Die oben genannten Systeme können mit Dünnschichtsystemen aus MgF_2 und LaF_3 entspiegelt werden. Für 193 nm eignen sich zudem auch SiO_2 und Al_2O_3 als Antireflexschichten.

55 Diese Möglichkeit der Entspiegelung ist eine wichtige Voraussetzung für die Realisierbarkeit von vielgliedrigen refraktiven Objektiven, da sonst pro Linsenfläche ca. 10% Reflexionsverlust auftritt.

Da für 126 nm und 109 nm keine Antireflex-Schichten bekannt sind, ist dies ein weiterer Grund, warum hier katadioptrische Systeme mit wenigen (z. B. 3-5) Linsen vorzuziehen sind, entsprechend Anspruch 12.

60 Beim Achromatisieren mit LiF und NaF bietet sich eine Möglichkeit, Grenzflächen Kristall-Gas einzusparen, damit auch Antireflexschichten bzw. Reflexionsverluste, gemäß den Ansprüchen 13 und 14.

Die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeausdehnung beider Stoffe sind sehr ähnlich:

65	Wärmeleitfähigkeit	Ausdehnung
	$\text{LiF} 4,01 \text{ W/m/K}$	$37,0 \cdot 10^{-6} / \text{C}$
	$\text{NaF} 3,75 \text{ W/m/K}$	$36,0 \cdot 10^{-6} / \text{C}$

65 Damit kann ein "Kittglied" durch Ansprengen geschaffen werden, das je eine + und -Linsen oder zwei + und eine -Linsen enthält. Da die Brechzahlen beider Kristalle sehr niedrig sind und die Entspiegelung daher schwierig, ist diese Kittgliedbildung besonders hilfreich.

Neben einzelnen solcher Kittglieder könnte das Objektiv ansonsten aus CaF_2 -Linsen bestehen.

DE 199 29 701 A 1

Auch angesprengte Glieder aus CaF_2 und BaF_2 sind möglich:

Wärmeleitfähigkeit	Ausdehnung
CaF_2 19,71 W/m/K	$18,8 \cdot 10^{-6}/\text{C}$
BaF_2 11,72 W/m/K	$18,1 \cdot 10^{-6}/\text{C}$

5

Erst die ausgezeichneten Wärmeleitfähigkeiten der Kristalle gegenüber Gläsern lässt derartige Ansprengeungen sicher erscheinen, insbesondere bei unterschiedlicher Absorption (und damit Erwärmung).

Als weitere Kristalle sind vor allem Mischkristalle des Fluor geeignet, darunter solche mit Alkali oder Erdalkali und anderen Elementen, wie Zinn, Zink oder Aluminium. Hohe Dispersion und gute Lichtbeständigkeit bei hoher Transmission im VUV sind dabei die Auswahlkriterien, bei Meldung von Doppelbrechung.

10

Natürlich gelten die obigen Aussagen auch für Linsen in einem katadioptrischen Objektiv, insbesondere auch für dabei verwendete refraktive Teilobjektive. Das erfundungsgemäße Objektiv kann also auch katadioptrisch sein. Wichtig ist, daß Linsen, und nicht nur optische Hilfselemente wie Umlenkprismen oder Planplatten aus Kristall bestehen.

15

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung, deren

Fig. 1 einen Linsenschnitt eines 157 nm Mikrolithographie-Projektionsobjektivs mit BaF_2 -Linsen zeigt;

Fig. 2 einen Linsenschnitt eines 157 nm Mikrolithographie-Projektionsobjektivs mit NaF -Linsen und Asphären zeigt;

Fig. 3 ein qualitatives Bild einer Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie zeigt;

Fig. 6 schematisch ein Projektionsobjektiv mit Kriegslied zeigt; und

20

Fig. 5 schematisch ein katadioptrisches Projektionsobjektiv zeigt.

25

Zu dem in Fig. 1 im Linsenschnitt gezeigten Ausführungsbeispiel gibt Tabelle 1 die Daten an.

Es handelt sich um ein Mikrolithographie-Projektionsobjektiv für den F_2 -Excimer-Laser bei 157 nm. Durch den Einsatz von CaF_2 und BaF_2 (für die Linsen 17, 18, 21, 24, 26, 28, 30) gelang es, bei einer Bandbreite von 0,5 μm , einem Stichting-gerechten Bildfeld von $8,0 \times 13,0 \text{ mm}^2$, einem Reduktionsfaktor von 4,0 : 1, einem Abstand Objekt O zu Bild I von 1000 mm und bei beidseitiger Telezentrische eine numerische Apertur von 0,8 zu verwirklichen. Eine weitere Erhöhung der numerischen Apertur ist durchaus möglich. Der Farblängsfehler wird um Faktor 3 gegenüber einem reinen CaF_2 Objektiv reduziert. Er beträgt noch CHI (500 μm) = 0,095 mm. Dieser Faktor kann durch zusätzliche CaF_2 - BaF_2 Linsenpaare noch gesteigert werden. Der gesamte RMS-Fehler der Wellenfront im Bild I liegt für alle Bildhöhen bei $\text{RMS} < 13 \text{ m}\lambda$, wobei ja die deutlich reduzierte Wellenlänge als Bezugsmass λ dient.

30

Die Bruchzahlen bei der Hauptwellenlänge $\lambda_0 = 157,63 \text{ nm}$ des F_2 -Excimer-Lasers und in 500 μm Abstand bei $\lambda_1 = 158,13 \text{ nm}$ sind

$n_0 = 1,5584$	$n_1 = 1,5571$ für CaF_2
$n_0 = 1,6506$	$n_1 = 1,6487$ für BaF_2
$n_0 = 1,5102$	$n_1 = 1,5097$ für SrF_2
$n_0 = 1,4781$	$n_1 = 1,4474$ für LiF
$n_0 = 1,4648$	$n_1 = 1,4629$ für NaF
$n_0 = 1,5357$	$n_1 = 1,5328$ für KF

40

Daraus ergibt sich eine Abbe-Zahl (invers zur Dispersion):

$v_{\text{CaF}_2} = 1219$, $v_{\text{BaF}_2} = 874$, $v_{\text{SrF}_2} = 392$,

35

$v_{\text{LiF}} = 674$, $v_{\text{NaF}} = 242$, $v_{\text{KF}} = 184$.

Damit hat bei 157 nm BaF_2 eine um 40% höhere Dispersion als CaF_2 . Im Vergleich hat bei 193 nm Quarzglas eine um 54% Dispersion als CaF_2 .

45

Das Projektionsobjektiv nach Fig. 1 und Tabelle 1 hat insgesamt 39 Linsen und eine planparallele Abschlußplatte P. Sieben Negativlinsen 17, 18, 21, 24, 26, 28 und 30 sind zur Achromatisierung aus BaF_2 gemacht. Die Konstruktion sieht in direkter Verwandtschaft zu dem in der obengenannten nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung DE 198 55 157.6 (deren Inhalt auch Teil dieser Anmeldung sein soll) beschriebenen Design.

50

Im Bereich der Systemblende AS ist eine – nicht stark eingeschränkte – dritte Taille T3 bei der Linse 26 ausgebildet, folgend auf die schon klassische Folge von Bauch B1 an Linse 5, Taille T1 an Linse 10, Bauch B2 an Linse 15, Taille T2 an Linse 18 und Bauch B3 an Linse 22, sowie gefolgt von Bauch B4. Besonders hoch entwickelt ist die Linsengruppe von Linse 20 bis 39 mit dem Doppelbauch B3, B4.

55

Mehrere sphärisch überkorrigierende Lufträume mit größerer Dicke in der Mitte als am Rand sind im Bereich der Blende AS zwischen den Linsen 23/24, 26/27 und 29/30, 30/31 als wesentliches Korrektionsmittel vorgesehen. Dieser Aufbau begrenzt auch bei größter numerischer Apertur die Linsendurchmesser. Die in Tabelle 1 angegebenen Linsenradien – entsprechend den jeweils größten Strahlhöhen – zeigen, daß der Linsendurchmesser maximal 190 mm am Bauch B4 beträgt. Auch sind die Linsendurchmesser ziemlich gleichmäßig verteilt, von Linse 13 im Bereich des zweiten Bauchs B2 bis Linse 34 nahe dem Bild I liegen alle Linsendurchmesser zwischen 140 mm und 190 mm.

60

Die negativen BaF_2 -Linsen 21, 24, 26, 28, 30 sind in klassischen CaF_2 -Paaren mit positiven CaF_2 -Linsen 22, 23, 25, 27, 29 abwechselnd im Bereich des Doppelbauchs B3, B4 vorwiegend vor der Blende AS angeordnet und werden durch zwei negative BaF_2 -Linsen 17, 18 im Bereich der zweiten Taille T2 ergänzt. Damit ergibt sich ein sehr wirksamer Einsatz des zweiten Kristallmaterials zur Achromatisierung.

65

Der den Ansprüchen 9 oder 10 gemäßige Einsatz zweier Kristall-Linsenwerkstoffe ergibt sich ausgehend von den beispielweise aus den Patentanmeldungen DE 198 55 108.8 und DE 198 55 157.6 des Anmelders vom gleichen Anmelde- tag und aus anderen Quellen bekannten Objektivdesigns dadurch, daß bei einem DUV-Objektiv (300–180 nm) mit überwiegend Quarzglas-Linsen und vorwiegend blendennahen, der Achromatisierung dienenden CaF_2 -Linsen die dem Bild

DE 199 29 701 A 1

IM nächsten Linsen – entsprechend in Fig. 1 Linsen 39, 39 usw. – aus Quarzglas oder CaF_2 , jetzt durch BaF_2 - oder SrF_2 -Linsen ersetzt werden. Die nur wenig anderen optischen Eigenschaften des BaF_2 und des SrF_2 gegenüber Quarzglas erfordern nur routinemäßige Designänderungen mit einem Optik-Design-Programm. Natürlich kann auch die Planplatte P sinnvoll aus BaF_2 gemacht werden. Wird sie jedoch – als Verschleiß- und Schutzelement – ohnedies öfters gewechselt, kann sie auch aus Quarzglas bleiben (im eben genannten Wellenlängenbereich)

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 2 zeigt ein 157 nm-Vollfeld-Scanner-Projektionsobjektiv auf der Basis von CaF_2 -Linsen, das durch den Einsatz von insgesamt fünf Negativlinsen 218, 219, 220, 221; 232, 233, 234, 235; 236, 237; 249, 250; 257, 258 aus NaF in den beiden Teilen, im Blendenraum und im konvergierenden Strahlengang vor der Bildebene Immachromatisiert ist.

10 Insgesamt drei asphärische Linsenflächen 211, 221, 257, davon zwei auf NaF , tragen zur guten Korrektur bei kompaktem, materialsparendem Bau des Objektivs bei.

Abbildungsmäßig 1 : 4, Bildfelddurchmesser 27,2 mm für ein 8 x 26 mm Scanner-Vollfeld und bildseitige numerische Apertur von $\text{NA} = 0,77$ sind wesentliche Kenndaten des Objektivs, dessen RMS-Bildfehler über alle Bildhöhen unter 16 μm liegt, bei einer Laser-Bandbreite von $\Delta\lambda = \pm 0,2 \text{ pm}$. Die chromatische Längsabberation für den Vergleichswert $\Delta\lambda = 500 \text{ pm}$ beträgt $\text{CHL} (500 \text{ pm}) = 0,153 \text{ mm}$. Die einzelnen Geometriedaten sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der größte genutzte Linsendurchmesser beträgt 46 mm an der Linse 247, 248.

Die Gestaltung und Nutzung der Asphären erfolgt hierbei nach den Grundsätzen der Patentanmeldung DE 199 22 209.6 vom 14. Mai 1999 des gleichen Erfinders und Anmelders, die hiermit als Teil der Offenbarung auch dieser Anmeldung gelten soll.

20 Die in Fig. 3 schematisch dargestellte Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie umfasst als Lichtquelle 301 einen Excimer-Laser, eine Einrichtung 302 zur Bandbreitenreduktion – die auch im Laser integriert sein kann –, ein Beleuchtungssystem 303 mit Homogenisierungs- und Feldblendeinrichtung u. a., einen Maskenhalter 304 mit Positionier- und Bewegungseinrichtung 314. Ein erfindungsgemäßes Projektionsobjektiv 305 umfasst Linsen 315, 325 aus verschiedenen Kristallen bzw. Fluoriten. In der Bildebene wird das Objekt auf einem Objekthalter 306 mit Positionier- und 25 Bewegungseinrichtung 316 dargestellt. In der Ausführung als Scanner werden Masken- und Objekthalter synchron in um den Abbildungsmaßstab unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegt. Natürlich gehören die hier nicht dargestellten Einrichtungen einer Projektionsbelichtungsanlage wie Steuer- und Regelsysteme, Autofokus, Waser- und Maskenwechselsysteme, Klimatisierung auch dazu.

30 Fig. 4 zeigt ein Objektiv 400 mit einem "Kugelglied" 401, d. h. eine ohne Luftspalt geteilte Linsengruppe, die in diesem tiefen UV-Bereich durch Ansprengungen gehalten wird, da kein strahlungsbeständiger Kitt/Kleber verfügbar ist. Wie oben gesagt, sind solche Glieder mit positiven LiF und negativen NaF Linsen sinnvoll bzw. mit BaF_2 und CuF_2 . Weitere Linsen 402 im Objektiv 400 sind dann z. B. aus CaF_2 oder einem anderen der oben beschriebenen Materialien gefertigt.

35 Fig. 5 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes katadioptisches Objektiv, wie es für die Lithographie mit 126 nm oder 109 nm vorgeschlagen wird.

Das Objekt O wird mittels 4 Spiegeln M1 bis M4 und 4 Linsen L1 bis L4 auf die Bildebene Im abgebildet. Eine Linse L1 ist mit dem Spiegel M1 zu einem Mangin-Spiegel vereinigt. Dies erleichtert die Fertigung und reduziert Reflexionsverluste und -störungen. Die Linsen L1, L3, L4, in denen das Strahlungsbündel großen Querschnitt und damit geringe Intensität aufweist, sind aus LiF gefertigt. Die bildnahe Linse L2, die zur Steigerung der numerischen Apertur gebraucht wird, ist aber konzentrierter Strahlung ausgesetzt. Hierfür wird amorphes BeF_2 eingesetzt, wegen seiner höheren Strahlungsbeständigkeit.

40 Das katadioptische Objektiv soll wegen der Absorption und der relativ schwierigen Herstellung der Linsenwerkstoffe nur wenige Linsen, d. h. 1 bis 10, enthalten. Derartige Mikrolithographie-Projektionsobjektive sind z. B. für 193 nm bekannt, vgl. US 4,701,035 Fig. 12 und US 5,15,310 Fig. 3 mit $\text{NA} = 0,6$ und Quarzglas als Linsenmaterial. Von solchen Systemen ausgehend können konkrete Ausführungen erfindungsgemäßiger Objektive abgeleitet werden, unter Vorgabe der optischen Eigenschaften der neu vorgegebenen Materialien.

45 Auch für die anderen Objektivkonstruktionen der Erfindung ist grundsätzlich die Detaillkonstruktion mittels Design-Programmen aus vorhandenen Designs abzuleiten. Dafür sind Brechzahl und Dispersion der Materialien bei den jeweiligen Betriebswellenlängen einzusetzen.

50 Aus "Handbook of Optics", McGraw-Hill 1995, Ch. 33 Properties of Crystals and Glasses, p. 33.64, ref. [125] sind beispielsweise die Dispersionskurven von

LiF ab 100 nm

NaF ab 150 nm, mit Extrapolation ab 130 nm

KF ab 150 nm, mit Extrapolation ab 130 nm

bekannt.

55 Zu den Absorptionskanten von BaF_2 , CaF_2 , MgF_2 , SrF_2 und LiF_2 finden sich Informationen in GB 1 276 700 betreffend ein Bandpassfilter bei 130 nm.

Optische Konstanten der angesprochenen Antireflexschichten finden sich beispielsweise in M. Zukic et al. Applied Optics 29 No. 28, Oct. 1980, p 4284-4292.

60 Die angegebenen Literaturstellen sind natürlich nur Beispiele. Außerdem können die genauen optischen Eigenschaften auch durch Vermessung von Proben mit einem UV-Spektrometer gewonnen werden.

In der Tabelle 3a sind die Abbezahlen ν einiger Fluoride und zum Vergleich von Quarzglas für die Wellenlängen des ArF- und des F₂-Excimerlasers angegeben.

Daraus abgeleitet sind die Quotienten der Abbezahlen in Tabelle 3b für verschiedene Kron/Flint Kombinationen bei 157 nm angegeben. Großer Quotient bedeutet starke Farbfehlerkorrektur mit wenig Flint.

65 Demnach wäre die Kombination Kron LiF , Flint KF ideal. Die schwierigen Eigenschaften von KF sprechen aber dagegen (Absorption, Wassersensitivität).

Jedoch kann mit dem Kron CaF_2 nur die Kombinationen mit NaF gegenüber den Kombinationen mit LiF als Kron konkurrieren.

DE 199 29 701 A 1

Sobald die Herstellung von Linsen aus LiF der von CaF₂-Linsen vergleichbar gut möglich ist, sind also Objektivkonstruktionen mit LiF als Kron vorzuziehen, in Kombination etwa mit BaF₂ oder NaF.

Der erfundungsgemüße Einsatz von Kristall-Linsen bringt auch bei katadioptrischen Systemen im Wellenlängenbereich 130 bis 200 nm die gleichen Vorteile.

Eine Projektionsbelichtungsanlage mit erfundungsgemäßem Objektiv entspricht zum Beispiel den aus den genannten Patentanmeldungen und anderen Quellen bekannten Aufbauten, jetzt allerdings mit dem erfundungsgemäßem Objektiv.

Für 157 nm Systeme ist ein F₂-Excimer-Laser mit moderatem Aufwand zur Bandbreitenbegrenzung, ein angepaßtes Beleuchtungssystem z. B. nach der Patentanmeldung DE 198 55 106, jedenfalls mit Fluorid und/oder Spiegel-Optik, aber auch z. B. mit erfundungsgemäßem Objektiv, vorzuschon. Dazu kommen Masken- und Wafer-Positionier- und Handlingssysteme usw. zu dem erfundungsgemäßigen Projektionsobjektiv.

Die asphärischen Flächen werden durch die Gleichung:

$$P(h) = \frac{\delta * h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX) * \delta^2 * h^2}} + C_1 h^4 + \dots + C_n h^{2n+2} \quad \delta = 1/R$$

beschrieben, wobei P die Pfeilhöhe als Funktion des Radius h (Höhe zur optischen Achse 7) mit den in den Tabellen angegebenen asphärischen Konstanten C₁ bis C_n ist. R ist der in den Tabellen angegebene Scheitelradius.

5

10

15

16

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

DE 199 29 701 A 1

Tabelle 1

Element	Krümmungsradius	Dicke	Material	Linsenradius
5 Ob	∞	8,646		34,52
10 1	-89,212	4,219	CaF ₂	
15 2	-16234,578	5,440		38,01
20 3	-264,742	5,333	CaF ₂	
25 4	252,387	7,720		43,32
30 5	-660,451	17,777	CaF ₂	
35 6	-140,998	,752		50,10
40 7	1064,631	16,556	CaF ₂	
45 8	-158,471	,750		57,46
50 9	334,549	20,500	CaF ₂	
55 10	-185,783	,750		61,97
60 11	123,299	18,438	CaF ₂	60,05
65 12	6416,942	,250		
70 13	80,830	6,933	CaF ₂	52,10
75 14	59,684	29,393		
80 15	-270,673	7,923	CaF ₂	45,95
85 16	-138,947	1,854		
90 17	-4994,395	6,686	CaF ₂	42,27
95 18	100,936	20,795		
100 19	-77,364	5,536	CaF ₂	38,79
105 20	138,364	18,752		
110 21	-102,745	16,748	CaF ₂	
115 22	-267,729	7,811		52,63
120 23	-130,631	24,060	CaF ₂	
125 24	-118,058	,755		63,21
130 25	-17113,629	30,658	CaF ₂	
135 26	-185,673	,550		77,37

DE 199 29 701 A 1

14	-763,483	14,068	CaF ₂	
	-257,169	,450		81,41
15	538,062	17,501	CaF ₂	5
	-524,097	,450		83,64
16	225,158	28,126	CaF ₂	10
	-455,940	,450		
17	288,200	5,280	BaF ₂	73,64
	116,070	43,999		15
18	-136,780	5,899	BaF ₂	
	596,541	30,232		70,04
19	-126,579	12,715	CaF ₂	
	-160,434	,450		77,54
20	1476,691	23,253	CaF ₂	25
	-252,721	,450		86,85
21	-2817,234	11,778	BaF ₂	30
	231,190	1,794		90,96
22	231,573	53,989	CaF ₂	35
	-192,300	,453		93,26
23	362,633	20,787	CaF ₂	88,11
	-787,951	9,876		40
24	-299,764	10,937	BaF ₂	86,45
	190,174	,750		45
25	183,395	50,343	CaF ₂	83,31
	-174,748	2,226		
26	-164,440	10,352	BaF ₂	82,14
	168,479	5,874		81,42
27	206,740	50,425	CaF ₂	55
	-153,785	1,751		82,83
28	-154,941	8,763	BaF ₂	
	-1457,609	,700		84,91
29	254,394	43,058	CaF ₂	87,38
				65

DE 199 29 701 A 1

AS	Blende	,000		87,38
	-217,033	9,211		
30	-162,604	12,000	BaF ₂	
	-911,982	32,352		89,88
31	-179,731	19,652	CaF ₂	
	-150,853	1,939		83,87
32	357,035	16,035	CaF ₂	92,29
	2402,661	,935		
33	141,252	27,158	CaF ₂	86,94
	445,801	,751		
34	121,230	20,012	CaF ₂	75,94
	251,005	,750		
35	89,189	18,534	CaF ₂	62,04
	183,720	7,397		
36	490,596	13,526	CaF ₂	58,00
	255,332	,750		48,00
37	77,348	8,959	CaF ₂	39,69
	53,255	7,818		
38	115,034	2,770	CaF ₂	30,44
	27,832	1,250		
39	27,548	14,863	CaF ₂	22,66
	193,984	2,347		
P	∞	1,211	CaF ₂	18,16
IM	∞			17,43
50				

55

60

65

DE 199 29 701 A 1

Tabelle 2

Element	Krümmungsradius	Dicke	Material
---------	-----------------	-------	----------

Ob	17.3892			5
2	-134.1462	9.9551	CAF2	
3	-195.6788	.7000		
4	-256.1348	10.3165	CAF2	
5	-215.7111	.7000		
6	-1180.4145	12.7743	CAF2	
7	-266.9759	.7000		
8	768.1676	17.0412	CAF2	10
9	-324.8752	.7000		
10	201.9820	20.6243	CAF2	
11	-1127.2372	A	.7000	
12	194.8406	10.7431	CAF2	
13	103.5380	29.2205		15
14	-439.7364	7.0000	CAF2	
15	157.9775	22.6530		
16	-211.6271	7.1822	CAF2	
17	-176.9514	.7259		
18	-205.5816	7.0000	NAF	
19	207.5612	36.0232		20
20	-119.6353	7.2489	NAF	
21	-413.0417	A	10.3726	
22	-210.9613	19.5719	CAF2	
23	-153.1211	.7433		
24	-1678.0629	38.5556	CAF2	
25	-171.3517	14.2594		25
26	590.6431	55.0613	CAF2	
27	-340.4357	1.0036		
28	170.6572	41.3431	CAF2	
29	2149.7419	.7000		
30	179.2959	13.8028	CAF2	
31	122.0160	35.7668		30
32	-451.7398	7.0000	NAF	
33	181.5824	30.6157		
34	-161.3429	7.0000	NAF	
35	163.5622	41.2955		
36	-111.4273	7.1293	NAF	
37	736.5479	19.4954		35
38	-304.3919	18.3054	CAF2	
39	-185.3428	.7765		
40	-1949.5147	20.2366	CAF2	
41	-231.5163	.8557		
42	622.3005	42.0816	CAF2	
43	-517.5639	.0001		40
		2.8420		
AB				
45	256.7969	32.8647	CAF2	
46	-609.0556	.8643		
47	328.0241	39.3550	CAF2	
48	-810.7543	33.1859		45
49	-246.7339	9.3143	NAF	
50	-513.0495	19.0999		
51	-342.1676	18.9984	CAF2	
52	-240.4150	.9015		
53	162.3229	36.3765	CAF2	
54	358.3715	2.9955		50
55	131.5532	23.5524	CAF2	
56	257.3044	15.9366		
57	-1240.0410	A	10.0142	NAF
58	269.2267	.7259		
59	113.1907	23.1921	CAF2	
60	47.2686	2.3140		
61	46.2346	30.1367	CAF2	
62	354.0845	15.0942	"	

(M)

ASPIRAERISCHE KONSTANTEN

21 A $C_1 = 156370866 \times 10^{-13}$ $C_2 = 18048141 \times 10^{-13}$ $C_3 = 22009617 \times 10^{-13}$ $C_4 = 25916689 \times 10^{-16}$ $C_5 = 27054723 \times 10^{-19}$
 $C_6 = 37644692 \times 10^{-23}$ $C_7 = 47644692 \times 10^{-27}$

21 A $C_1 = 95744229 \times 10^{-13}$ $C_2 = 13626852 \times 10^{-13}$ $C_3 = -22507210 \times 10^{-11}$ $C_4 = -13590112 \times 10^{-16}$ $C_5 = 18134366 \times 10^{-19}$
 $C_6 = 24203739 \times 10^{-23}$ $C_7 = 23291310 \times 10^{-27}$

57 A $C_1 = 0.00000000 \times 10^{-13}$ $C_2 = 4.6722013 \times 10^{-9}$ $C_3 = -8.0987214 \times 10^{-13}$ $C_4 = 2.2109307 \times 10^{-16}$ $C_5 = 1.6469029 \times 10^{-20}$

60

65

DE 199 29 701 A 1

Tabelle 3a

Abbezahlen

5 Wellenlänge 193,63 nm 157,63 nm

10 LiF 1344,27 674,56

15 CaF₂ 1024,36 436,94

20 SrF₂ 954,39 391,89

25 BaF₂ 807,43 344,42

30 SiO₂ 714,96 274,61

35 NaF 705,92 242,51

40 KF 648,04 184,19

$$40 \text{ Definition } \nu = \frac{n 193,304 - 1}{193,304 - n 193,804}$$

$$45 \nu = \frac{n 157,63 - 1}{157,63 - 158,13}$$

50

55

60

65

DE 199 29 701 A 1

Tabelle 3b

Dispersionsvergleich 157 nm

Flint	Kron LiF	Kron CaF ₂	
CaF ₂	1,549	-	5
SrF ₂	1,721	1,115	10
BaF ₂	1,959	1,269	15
NaF	2,782	1,802	20
KF	3,662	2,372	25

Patentansprüche

1. Objektiv mit Linsen aus mindestens zwei verschiedenen Krisallen.
2. Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen aus mindestens zwei verschiedenen Fluoriden, insbesondere aus CaF₂, BaF₂, SrF₂, LiF, NaF, KF bestehen.
3. Objektiv nach Anspruch 1 oder 2 mit zusätzlichen Linsen aus glasartigem Material, insbesondere Quarzglas oder amorphem BeF₂.
4. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, korrigiert für die Beleuchtung mit einem F₂-Excimer-Laser bei 157 nm, dadurch gekennzeichnet, daß es rein refraktiv ist und Linsen aus BaF₂, SrF₂, NaF, LiF oder KF enthalten.
5. Projektionsobjektiv nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als weiteres Kristall-Linsenmaterial CaF₂ eingesetzt ist.
6. Projektionsobjektiv nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß einzelne Negativlinsen aus BaF₂ oder SrF₂ oder NaF gefertigt sind.
7. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß alle Positivlinsen und einzelne Negativlinsen aus CaF₂ gefertigt sind.
8. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die bildseitige numerische Apertur über 0,5, vorzugsweise über 0,6, beträgt.
9. Refraktives Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, korrigiert für die Beleuchtung mit Wellenlängen unter 360 nm, enthaltend Linsen aus Quarzglas, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der beiden der Bildebene des Objektivs nächsten Linsen aus Kristall, vorzugsweise CaF₂, SrF₂ oder BaF₂, ausgeführt ist.
10. Objektiv nach Anspruch 3 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß es ein mikrolithographisches Projektionsobjektiv, korrigiert für die Laser-Beleuchtung mit einer Wellenlänge unter 360 nm, ist und die meisten Linsen aus Quarzglas, mehrere positive Linsen vorzugsweise in Blendenstärke, zur Achromatisierung aus CaF₂ und eine oder mehrere objektseitige Linsen zum Verhindern des Compaction-Einflusses aus BaF₂ oder einem anderen Fluorid, insbesondere SrF₂, gefertigt sind.
11. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie mit einer Arbeitswellenlänge von 100-180 nm mit Linsen aus mindestens zwei der Kristall-Materialien CaF₂, BaF₂, LiF, NaF, SrF₂, KF oder des amorphen BeF₂.
12. Projektionsobjektiv der Mikrolithographie, ausgeführt als katadioptrisches Objektiv mit einer Arbeitswellenlänge von 100-130 nm enthaltend Linsen aus LiF und/oder amorphem BeF₂.
13. Achromat-Linsengruppe bestehend aus aneinander angesprengten Linsen aus verschiedenen Fluoriden, insbesondere NaF und LiF oder CaF₂ und BaF₂.
14. Projektionsobjektiv mit mindestens einer Achromat-Linsengruppe nach Anspruch 13.
15. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Linse eine asphärische Fläche aufweist.
16. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß Linsen eine Dünenschicht-Entspiegelung aus MgF₂ und/oder LaF₃ tragen.
17. Projektionsbelichtungsanlage mit 157 nm Lichtquelle und refraktivem Projektionsobjektiv.
18. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie
 - mit einer Lichtquelle, enthaltend einen Excimer-Laser mit 100-160 nm, vorzugsweise 100-150 nm Wellenlänge.
 - mit einem Beleuchtungssystem, enthaltend refraktive optische Elemente aus einem oder mehreren Fluoriden.

DE 199 29 701 A 1

den, insbesondere Alkali- oder Erdalkalifluoriden,
- einem Retikel-Positionier- und Bewegungssystem
- mit einem Projektionsobjektiv mit Linsen aus mindestens zwei der Kristall-Materialien CaF_2 , BaF_2 , LiF ,
 NaF , SrF_2 , KF oder dem amorphen BeF_2 ,
- mit einem Objekt-Positionier- und Bewegungssystem.

5 19. Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15 ausgeführt ist.

20. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß sie für das Stiching-Verfahren ausgelegt ist.

10 21. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß ein Excimer-Laser mit 109, 126, 134, 146 oder 157 nm Wellenlänge als Lichtquelle eingesetzt ist.

15 22. Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile, bei dem ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat mittels einer Maske und einer Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 17 bis 21 durch ultraviolettes Laserlicht belichtet wird und einer Abbildung eines auf der Maske enthaltenen Musters strukturiert wird.

23. Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in mindestens einer Zerstreuungslinse ein Material eingesetzt ist, dessen Brechungsindex niedriger ist als der durchschnittliche Brechungsindex der in den Sammellinsen verwendeten Materialien.

20

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

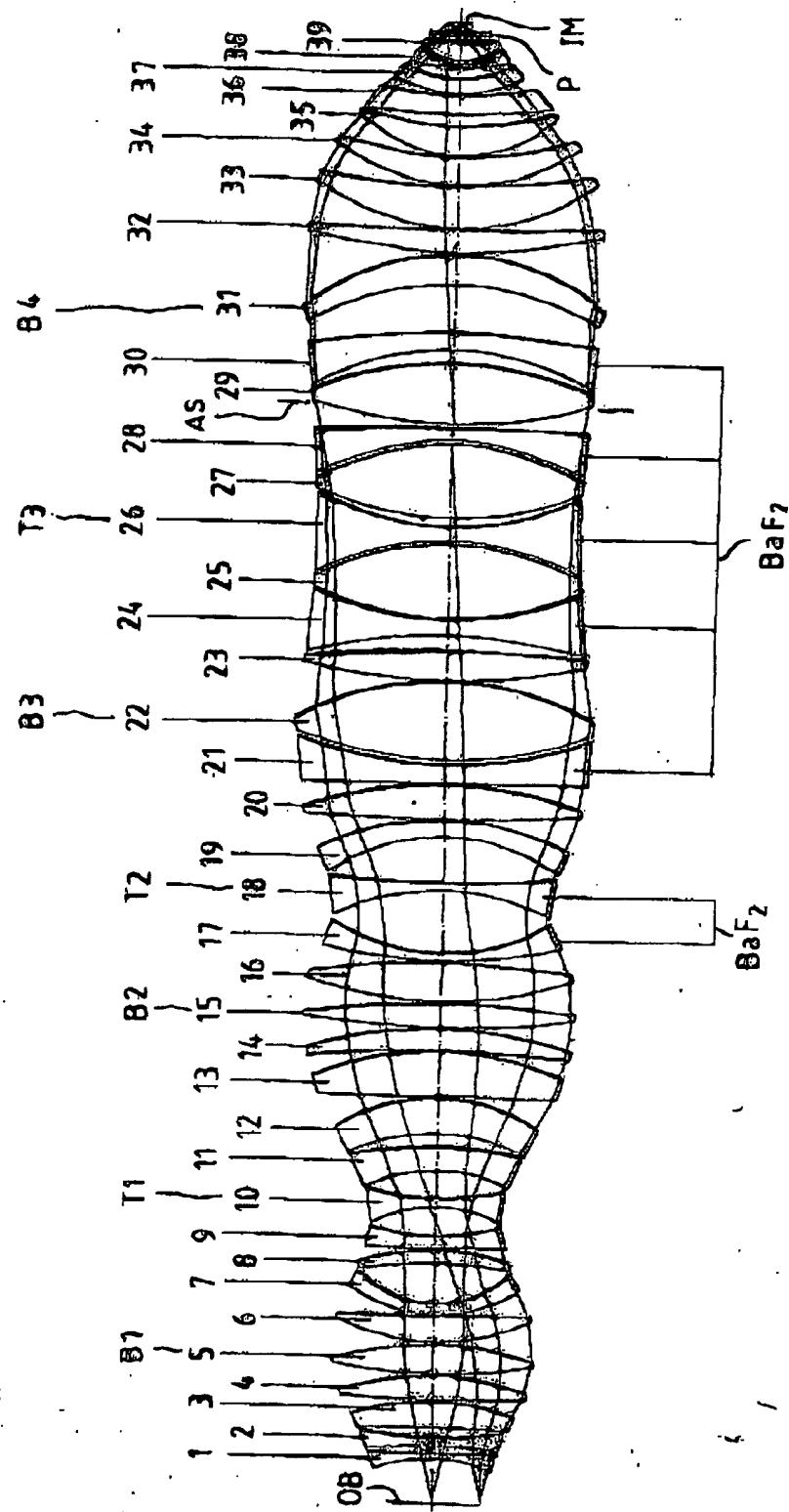
65

- Leerseite -

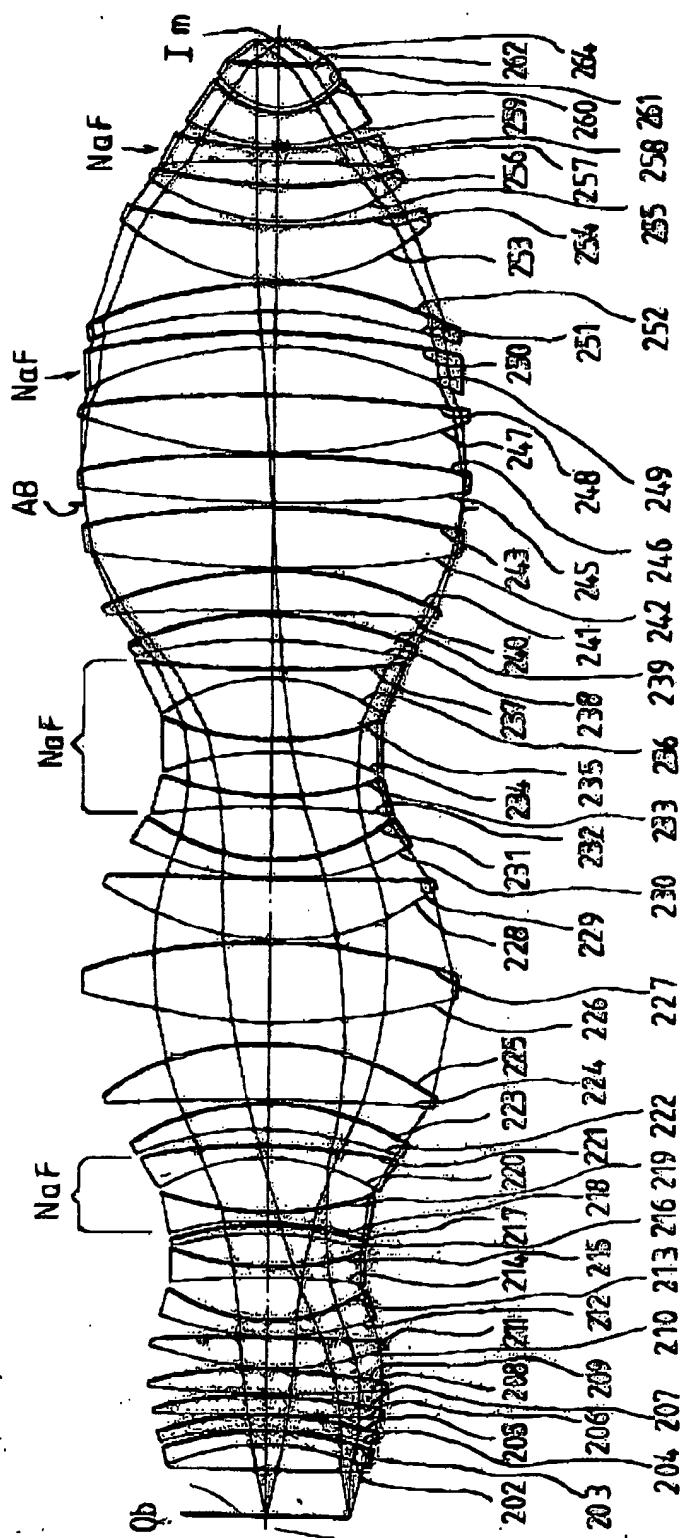
ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:
Int. Cl.?:
Offenlegungstag:

DE 199 29 701 A1
G 02 B 102
31. Mai 2000

FIG. 1

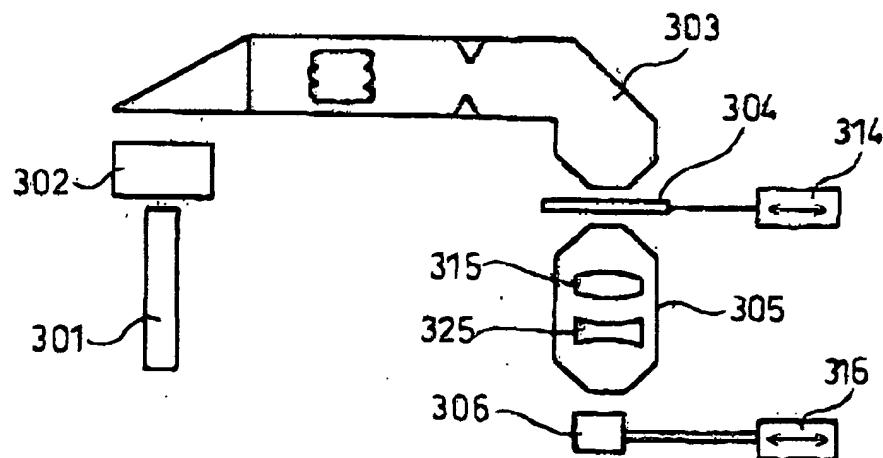
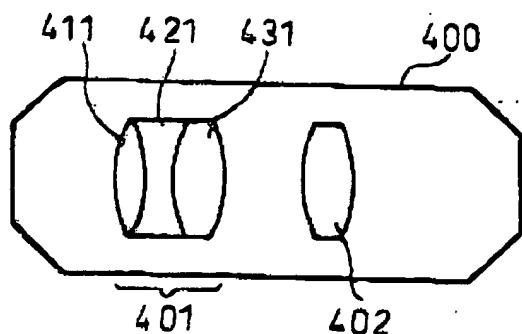
ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstags:DE 199 29 701 A1
G 02 B 1/02
31. Mai 2000FIG. 2

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 29 701 A1
G 02 B 1/02
31. Mai 2000

FIG. 3FIG. 4FIG. 5